

学校编码: 10384

分类号_____ 密级_____

学 号: 23120111152975

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

TD-LTE 上行 PUSCH 信道 EVM 测量
算法研究

The research on EVM measurement
algorithm of PUSCH in TD-LTE

付 延 超

指导教师姓名: 施芝元 教授

专 业 名 称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2014 年 5 月

论文答辩日期: 2014 年 5 月

学位授予日期: 2014 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2014 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

LTE 自 2009 年商用以来,发展极为迅速,具有我国自主知识产权的 TD-LTE 技术,由于其灵活的频谱配置,也得到了迅速的发展和广泛的传播,2013 年底中国已经正式发放 TD-LTE 牌照。然而 TD-LTE 的终端研制还不是很成熟,终端产品的性能需要特定的仪表对其进行测试,因此 TD-LTE 测试仪表的研制及其关键技术的研究,有助于推动整个行业的发展,具有重要意义。

本文首先针对 TD-LTE 的 PUSCH (Physical Uplink Shared Channel, 物理上行共享信道) 及其 EVM (Error Vector Magnitude, 误差矢量幅度) 测量方法进行了研究,EVM 属于无线指标测试中的调制质量测试,然后设计了 PUSCH 的 EVM 的测量步骤。为了使得测量结果达到预期目标,本文对影响 EVM 测量结果的关键因素进行研究与分析,针对频率偏移估计算法、IQ 不平衡估计和补偿算法以及信道估计算法,分别进行了算法的性能对比和分析,并对相关的关键算法进行研究和优化,在频偏估计算法中,提出了一种利用对数平均计算频谱重心的盲估计算法,该算法性能良好,复杂度低。在信道估计算法中,根据 PUSCH 中参考信号幅值恒定的情况,对 MMSE 算法进行优化,降低了算法复杂度。最后在整体仿真中使用了基于对数平均计算频谱重心的盲估计算法和基于 PUSCH 的 MMSE 优化算法,并求出 EVM 的测量值,仿真结果表明达到了预期的目标。

未来本文的进一步研究工作是对影响 EVM 测量结果的其他关键算法如定时偏移算法、直流估计算法等进行研究,并继续优化算法的性能,使得 EVM 的测量误差最小化。

关键词: TD-LTE; PUSCH; EVM; 测量算法

Abstract

It is very rapid development by LTE commercial since 2009. The technology of TD-LTE that has the independent intellectual property rights of China is developed and wide spread-ed because of its flexible spectrum allocation, The TD-LTE license has been granted by China at the end of 2013. But the TD-LTE terminal development is still not very mature and the performance of these need specific instrument to test. It has huge significance for the test of instrumentation development and the research of key technology of TD-LTE, and it will promote the development of this industry.

The PUSCH of TD-LTE and the EVM measurement method will be researched firstly in the paper, where the research on EVM measurement belong to the modulation of quality test in wireless indicator, and then the EVM measuring steps of PUSCH will be designed. In order to make the measurement result reach the desired goal, the key factors which influence the EVM measurement result will be analyzed in the paper, the comparison and analysis of the performance of various algorithms for the frequency offset measurement algorithm, the IQ imbalance estimation and compensation algorithm and the channel estimation algorithm will be given. In the frequency offset estimation algorithm, a new blind estimation algorithm which has a good performance and low complexity is put forward by using a method of logarithmic mean to calculate the center of gravity. In the channel estimation algorithm, a optimization of MMSE algorithm which can reduce the algorithm complexity is put forward according to that the reference signals' amplitude in the PUSCH is constant. The new blind frequency offset estimation spectrum and the optimization of MMSE algorithm will be used to calculate the EVM in the whole simulation finally. The simulation result shows that the desire goal has been researched.

The other key algorithms which can affect the measurement results of EVM will be researched in the future further work of this article such as symbol timing algorithm and DC estimation algorithm. It is the main work to optimize the algorithm

performance and minimize the measurement error of EVM in the future.

Key words: TD-LTE; PUSCH; EVM ; Measurement Algorithm

厦门大学博硕士论文摘要库

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 课题研究背景和意义.....	1
1.2 TD-LTE 终端测试仪器的发展现状.....	2
1.3 论文安排.....	3
第二章 TD-LTE 的 PUSCH 简介.....	5
2.1 TD-LTE 的物理信道类型及功能.....	5
2.2 TD-LTE PUSCH 信道承载信息简介.....	6
2.3 TD-LTE PUSCH 发送端流程.....	9
2.4 TD-LTE PUSCH 接收端流程.....	12
2.5 本章小结.....	13
第三章 频率偏移估计算法.....	14
3.1 频偏的影响.....	15
3.1.1 频偏对普通载波系统的影响.....	15
3.1.2 频偏对 TD-LTE 系统的影响.....	16
3.2 TD-LTE 系统的频偏估计算法.....	19
3.2.1 基于数据辅助的整数倍频偏估计.....	20
3.2.2 基于数据辅助的小数倍频偏估计.....	25
3.3 本章小结.....	29
第四章 基于导频符号的 IQ 不平衡估计和补偿算法.....	30
4.1 IQ 不平衡带来的影响.....	30
4.2 基于导频符号的 I/Q 不平衡 LS 算法估计和补偿.....	32
4.2.1 AWGN 信道下 I/Q 不平衡的 LS 估计与补偿算法.....	32
4.2.2 多径信道下 I/Q 不平衡的 LS 估计与补偿算法.....	34
4.2.3 仿真分析.....	35
4.3 信道失真与 I/Q 不平衡综合影响下的 LS 估计算法.....	37

4.3.1 频域 LS 估计与补偿算法.....	37
4.3.2 时域 LS 估计与补偿算法.....	38
4.3.3 仿真分析.....	39
4.4 本章小结.....	40
第五章 信道估计算法.....	41
5.1 基于 LS 算法的信道估计.....	42
5.2 基于 MMSE 算法的信道估计.....	43
5.2.1 基于 MMSE 算法信道估计.....	43
5.2.2 MMSE 算法的优化.....	45
5.3 基于 LRA 算法的信道估计.....	50
5.3.1 基于 LRA 的信道估计算法.....	50
5.3.2 仿真分析.....	53
5.4 信道插值算法与均衡算法.....	54
5.4.1 一阶线性插值算法.....	54
5.4.2 迫零均衡算法.....	55
5.5 本章小结.....	56
第六章 EVM 测量及结果分析.....	57
6.1 EVM 定义.....	57
6.2 PUSCH 的 EVM 测量方案.....	58
6.3 EVM 测量结果及分析.....	60
第七章 总结与展望.....	62
7.1 全文总结.....	62
7.2 未来展望.....	63
参考文献.....	64
硕士期间科研成果.....	67
致谢.....	68

Contents

Chapter1 Introduction.....	1
1.1 Background and Significance.....	1
1.2 The Development Status of Terminal Test Equipment of TD-LTE.....	2
1.3 Paper Organization.....	3
Chapter2 The Introduction of PUSCH in TD-LTE.....	5
2.1 Physical Channel Type and Function of TD-LTE.....	5
2.2 The Carrying Information of PUSCH in TD-LTE.....	6
2.3 The Sender Process of PUSCH in TD-LTE.....	9
2.4 The Receiver Process of PUSCH in TD-LTE.....	12
2.5 Conclusion.....	13
Chapter3 Frequency Offset Estimation Algorithm.....	14
3.1 The Influence of Frequency Offset.....	15
3.1.1 The Influence of Frequency Offset for Common Carrier System.....	15
3.1.2 The Influence of Frequency Offset for TD-LTE.....	16
3.2 The Frequency Offset Estimation Algorithm of TD-LTE.....	19
3.2.1 Integer Frequency Offset Based on Data-aided.....	20
3.2.2 Fine Frequency Offset Based on Data-aided.....	25
3.3 Conclusion.....	29
Chapter4 IQ Imbalance Estimation and Compensation Algorithm..	30
4.1 The Influence of IQ Imbalance.....	30
4.2 LS Estimation and Compensation Algorithm of IQ Imbalance	32
4.2.1 LS Estimation and Compensation Algorithm of IQ Imbalance in AWGN.....	32
4.2.2 LS Estimation and Compensation Algorithm of IQ Imbalance in Multipath.....	34
4.2.3 Simulated Analysis.....	35
4.3 LS Algorithm for IQ Imbalance and Channel Distortion.....	37

4.3.1 LS Estimation and Compensation Algorithm for Frequency Domain.....	37
4.3.2 LS Estimation and Compensation Algorithm for Time Domain.....	38
4.3.3 Simulated Analysis.....	39
4.4 Conclusion.....	40
Chapter5 Channel Estimation Algorithm.....	41
5.1 Channel Estimation Based on LS.....	42
5.2 Channel Estimation Based on MMSE.....	43
5.2.1 Channel Estimation Based on MMSE.....	43
5.2.2 The Optimization of MMSE.....	45
5.3 Channel Estimation Based on LRA.....	50
5.3.1 Channel Estimation Based on LRA.....	50
5.3.2 Simulated Analysis.....	53
5.4 Channel Interpolation Algorithm and Equalization Algorithm.....	54
5.4.1 The First-order Linear Interpolation Algorithm.....	54
5.4.2 ZF Algorithm.....	55
5.5 Conclusion.....	56
Chapter6 The Measurements and Results analysis of EVM	57
6.1 The Definition of EVM	57
6.2 The Measurement Scheme of EVM in PUSCH.....	58
6.3 The Measurements and Results analysis of EVM.....	60
Chapter7 Conclusions and Future Work.....	62
7.1 Conclusion.....	62
7.2 Future Work.....	63
References.....	64
Research Works and Achievements.....	67
Acknowledgements.....	68

第一章 绪论

1.1 课题研究背景和意义

第三代协作项目（Third Generation Partnership Project, 3GPP）于 2004 年开始研究长期演进（Long Term Evolution, LTE）技术^[1]，并于 2008 年发布 Release 8 标准。LTE 被业界称为 3.9G，也就是 3G 到 4G 的一个过渡阶段，而不是外界流传的 4G 技术，严格来说，是“准 4G”技术。它的最大特点是对 3G 的空中接口技术做了改进和革新，核心技术是正交频分复用技术（OFDM）和多输入多输出传输技术（MIMO），OFDM 技术要求各个子载波在频域上保持正交，这样可以有效的提高了频谱的利用率，MIMO 技术是在收发两端采用多根天线，可以有效提高信道容量和可靠性。按照 3GPP 的要求，LTE 在 20MHz 带宽能提供上、下行峰值速率分别为 50Mbit/s 和 100Mbit/s，而且要求能够改善小区边缘的用户性能、降低系统延迟、提高系统容量等作用。从 2008 年 3 月开始，LTE-Advanced 被提上日程，作为 LTE 的一个后向兼容技术，它完全兼容 LTE，希望在 100MHz 带宽下达到上、下行峰值速率分别为 500Mbit/s 和 1024Mbit/s，并且可以针对室内的通信环境进行优化处理，以及支持新的频段和大带宽的应用。2010 年 12 月，国际电信联盟把 LTE-Advanced 正式定义为 4G，届时，4G 正式诞生。LTE-Advanced 也简称 LTE-A，它将采用多点协作收发（Carrier Aggregation）、中继传输（Relaying）、载波聚合（Carrier Aggregation）、MIMO 增强等新技术，从而提高了小区的边缘吞吐量。通过引入上述的关键技术，LTE-A 将成为未来一段时间无线通信发展的主流，它将会给人们的生活带来深刻的变革，引领人们走向无线通信的新时代。截至 2013 年 11 月，全球已有超过 474 家运营商投入 LTE 网络建设，LTE 商用网络已达到 222 张^[2]，其中 FDD 模式下的 LTE 商用进程更快，在全球已形成气候，具有中国知识产权的 TDD 模式下的 LTE 则相对缓慢，但是鉴于 TD-LTE 技术上的相对优势，对国外的运营商也具有相当大的吸引力，目前全球已有 18 个国家部署了 24 张 TD-LTE 商用网络^[3]，我国也在 2013 年 12 月份由工信部为中国移动颁发 TD-LTE 牌照。测试作为 TD-LTE 整个产业链中的一环，位于产业链的上游，是验证终端产品能否步入市场并具备商用水平，是保

障产业链完整、提升产业化的可靠性的关键的手段^[4]。由于 TD-LTE 灵活的带宽配置，且信号带宽最大可达 20MHz，这对测试终端的研制带来了新的挑战，所以 TD-LTE 的终端测试更加复杂和系统化。终端测试的内容众多，其中一项就是基站设备的测试，完整的基站设备测试包括软件测试、硬件测试和无线指标测试^[5]，软件测试包括接口测试、基本功能测试和维护指标测试；硬件测试主要针对基本器件、模块的测试；无线指标测试则包括发射端的测试以及接收端的测试；在发射端，主要考察信号的调制质量、发射功率、占用带宽和带外谐波抑制等，在接收端，主要考察测量接收机在各种干扰情况下的接收灵敏度^[5]。本文针对 TD-LTE 上行 PUSCH 的 EVM 测量属于无线指标测试中的调制质量测试。发射机调制质量的好坏直接影响接收机的解调能力，在 TD-LTE 终端大规模生产之前，必须对其进行全方位的评估和测试^[6]。影响发射端调制质量的参数主要有定时偏差、频率偏移、直流分量、IQ 不平衡、信道影响等因素。采用性能好的测量算法，可以降低测量时间、提高测量精度，使测量结果更接近于真实值，这样更有利于终端产品的研发和调试，所以测量算法的研究是测试环节的根本和核心，直接影响着测试结果的可靠性。

1.2 TD-LTE 终端测试仪器的发展现状

终端芯片一直是国内整个通信产业链中的薄弱环节^[7]，终端芯片的成熟度是决定 TD-LTE 能否成功的关键所在，而测试终端的匮乏会导致终端芯片研制的难度增大，进而加长终端商用时间。随着 LTE 技术的逐渐成熟，国内外主流的移动通信厂商都开始了开发 LTE 系统产品的进程。但很大部分的测试厂商开始都在集中开发 FDD-LTE 系统的终端测试产品，比较著名的如思博伦、日本横河电机等研发的 FDD-LTE 测试仪表，而安捷伦、R&S 等公司除了开发 FDD-LTE 测试仪表外，还积极参与 FDD-LTE 标准的制定。TD-LTE 测试仪表的开发与生产相对滞后于 FDD-LTE，最早开发 TD-LTE 测试仪表的国内公司是星河亮点，它早在 2009 年便开始启动了 TD-LTE 测试仪表的研发进程，并且在 2010 年完成了 TD-LTE 测试仪表样机的开发，其终端综合测试仪已经能够实现对终端的射频测试，同时在 2011 年 6 月推出 TD-LTE 无线资源管理一致性测试系统^[8]。而近些

年来,由于中国对 TD-LTE 的大力支持,国内的很多仪器仪表厂商都开始了 TD-LTE 的测试仪表研发,测试中主要运用的芯片包括高通、华为海思、大唐联芯、中兴微电子、创毅视讯等^[9],大多已经支持 TD-LTE 模式。TD-LTE 测试仪表的研发也进入了快速发展的时期,截止到 2014 年 1 月,TD-LTE 终端测试仪表厂商进展情况如表 1-1 所示^[10]。

表 1-1 TD-LTE 终端测试仪表现状

终端产品	厂家
终端综测仪	安立、R&S、安捷伦、Aeroflex、星河亮点 大唐联仪、众友、41 所、安耐特、创远
终端一致性测试仪表	安立、R&S、安捷伦、Aeroflex、星河亮点 大唐联仪、安耐特

1.3 论文安排

本文主要针对 TD-LTE 上行 PUSCH 的 EVM 测量进行研究,针对 EVM 测量中的关键算法—频偏估计、IQ 不平衡估计和补偿、信道估计等进行深入的研究,并对相关的算法进行分析和优化,在频偏估计算法中,提出了一种利用对数平均计算频谱重心的盲估计算法,该算法性能相对良好,并且复杂度低。在信道估计算法中,根据 PUSCH 中参考信号幅值恒定的情况,对 MMSE 算法进行优化,降低了算法复杂度。全文共分为七个部分,具体如下:

第一章为绪论。主要介绍了课题研究的背景和意义,以及 TD-LTE 终端测试仪器的发展现状,最后介绍了整个论文的主要内容和章节安排。

第二章为 TD-LTE 的 PUSCH 简介。详细介绍了 TD-LTE 的 PUSCH 承载信息以及发送端与接收端的详细流程。

第三章为频率偏移估计算法。介绍了频偏的概念和对系统性能的影响,针对 TD-LTE 系统,详细研究了基于数据辅助的整数倍频偏估计算法—时域估计和频域估计,然后提出一种新的盲估计算法—利用对数平均计算频谱重心的整数倍频

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库